干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.05.12

1960—2015年山西省“数九”时节气温时空变化特征①

姚 宇, 郑 伟, 李敏睿, 高文兰, 石培宏
(陕西师范大学地理科学与旅游学院,陕西 西安 710119)

摘 要: 基于山西省24个气象站点1960—2016年逐日最高、最低、平均气温数据,运用线性倾向估计法、Mann-Kendall非参数检验法、Morlet小波分析等方法,分析了山西省近56 a“数九”时节气温的时空变化特征。结果表明:(1) 近56 a山西“数九”时节气温均呈上升趋势,其中平均最高气温上升趋势最大,约为0.5 ℃·(10 a)$^{-1}$。就平均气温变化而言,“五九”变化趋势最大,约为0.703 ℃·(10 a)$^{-1}$,就分布而言,“四九”值最低,“五九”开始回暖,“六九”回暖幅度最大。20世纪90年代前后各“九”各项平均气温对比发现,最低值延后,回暖时间提前,“数九”冷期缩短。(2) “数九”时节气温高值区主要集中在晋南山间盆地、河谷区,以运城盆地最为明显,低值区主要分布于以晋东北五台山为中心的山地丘陵区,增温幅度分布情况大致与此相反。(3) 在1990年左右气温均出现暖突变,平均最高气温突变前后变化最大,约为1.73 ℃。(4) 气温周期变化明显,均存在4~8 a短时间尺度周期。本研究填补山西省 对“数九”时节气温变化研究的空白,为山西省气候资源评价和农业生产布局提供科学依据。

关 键 词: “数九”时节; 气温; 山西省; 时空变化; 数值分析

近年来,全球气候变化已经成为世界关注的热点,气温作为重要的气候因子之一,极大地影响着人类的生产生活。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告明确指出,近30 a以来全球气温总体上呈现出更加显著的变暖趋势[1]。1990s可能是自1861年观测记录建立以来最暖的10 a[2-3]。全球大部分地区最低气温的增温率较大[4-5],日较差减小[6]。我国近年来气温总体上也呈现出明显的上升趋势[7],升温最显著的季节主要在冬春季,最明显地区集中在东北、华北、西北和青藏高原北部地区[8]。过去的研究表明,全国气温变化在时间上存在周期性[11]和显著突变性[12],在空间上存在明显的差异性[13],山西省在这些方面表现比较典型[14-18]。

然而研究多是基于年、季或月这样的固定时间单位对气温数据进行分析研究,对于宏观了解气温的变化特征具有重要意义,但是对一些特殊时节或节气气温的时空变化研究涉及较少。基于此,本文以“数九”(“数九”又称“冬九九”,是从每年的冬至日算起,每9 d为一“九”,向后递推依次是“一九”、“二九”、“三九”……直到“九九”,共有81 d,即阳历12月21日(22日)~3月11日(12日),这段时间是一年中最寒冷的时期。这个与冬季气温密切相关的时节为例,首次采用山西省24个气象站点1960—2016年逐日最高、最低、平均气温资料,运用线性倾向估计法、Mann-Kendall非参数检验法、Morlet小波分析等方法,对近56 a来“数九”时节的气温进行时空变化分析,有助于填补山西省对“数九”时节气温变化研究的空白,为山西省气候资源评价和农业生产布局提供科学依据。

1 研究区概况

山西省(110°14′~114°33′E,34°34′~40°43′N)地处黄河中游,黄土高原东部,东邻河北,西界陕西,南接河南,北连内蒙古自治区(图1)。全省地形复杂,纵观全貌,境域轮廓大致呈由东北向西南的平行

① 收稿日期: 2018-12-08; 修订日期: 2019-05-05
基金项目: 国家自然科学基金项目(D010105);中央高校基本科研业务费专项项目(GK201302034)资助
作者简介: 姚宇(1995-),女,山西大同人,本科,主要从事气象数值分析研究. E-mail:2734790893@qq.com
通讯作者: 郑伟(1979-),男,湖北十堰人,博士,主要从事气候变化与寒区旱区环境研究. E-mail:zhengwei@snnu.edu.cn

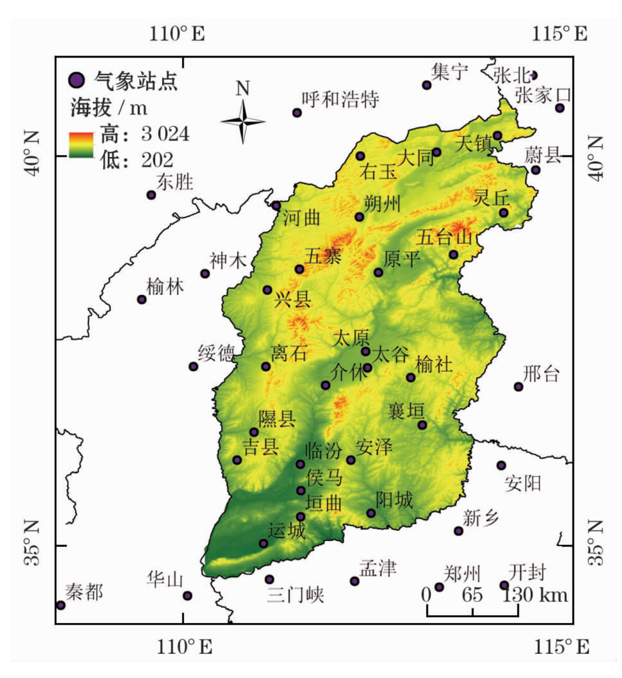


图 1　研究区气象站点分布图

Fig. 1　Study area and distribution map of the meteorology stations

四边形，整体上东北高西南低，境内东西两侧为隆起的山地，中部为一雁行排列的断陷盆地和平原呈现出串珠状[19]。全省大部分地区海拔在1 000 m以上，其中相对高度大于 200 m 的山地和丘陵的面积占全省总面积的 80.3%，平原与台地仅占 19.7%。山西省主要气候类型是温带大陆性季风气候，四季分明。全年均温为 4～14 ℃，年降水量为 400～600 mm，无霜期平均为 80～220 d。

2　数据来源与研究方法

本文数据来源于中国气象数据共享网(http://data.cma.cn/)，涵盖 1960—2015 年山西省 24 个气象站点及省外毗邻的 18 个气象站点的逐日最高、最低和平均气温资料。由于考虑到冬至日日期及平闰年对 2 月日数的影响，本文根据情况进行分类整理，严格按照每年“数九”时节所包含的时间长度进行气温数据提取。所选气温数据时间跨度长，具有完整性和可靠性，能够很好的满足长时间序列的分析研究对数据的质量要求。研究区气象站点分布情况如图 1 所示。

本文通过对逐日气温数据整理得到各年“数九”时节及各“九”的气温平均值，采用线性倾向估计法和 10 a 滑动平均法获得山西省“数九”及各“九”气温的变化趋势，分析气温的年际、年代际和年内变化特征；采用 ArcGIS10.2 软件对各气象站点近 56 a“数九”时节各项平均气温及其倾向率进行协同克里金空间插值，进而分析气温的空间变化特征；采用 Mann-Kendall 非参数检验法和累计距平法对各项平均气温进行突变检测分析；采用 Morlet 小波分析“数九”时节各项平均气温的周期变化特征。

3　结果分析

3.1　气温的时间变化特征

3.1.1　气温的年际、年代际变化　山西省近 56 a 来“数九”时节各项平均气温变化情况如图 2 所示，1960—2015 年期间全省“数九”期间各项平均气温整体上均呈显著增加趋势($P<0.05$)，增温率均高于近百年(1909—2011 年)中国陆地区域 0.09～0.15 ℃·(10 a)$^{-1}$的平均增温率[20]，其中平均最高气温增温率最大，约 0.5 ℃·(10 a)$^{-1}$，对“数九”时节平均气温升高的贡献率最大。从 10 a 滑动平均曲线看出，平均最低气温的波动最大，平均气温的波动最小，平均最低气温变化更为不稳定。此外，三者均在 1970 年、1975 年、1982 年、1990 年、2000 年以及 2011 年左右变化趋势发生明显转折，且相邻转折点间的差值约为 5～10 a，可见气温虽总体上呈增温趋势但局部上发生 5～10 a 降温、增温的往复变化，推测 2015 年之后的 5 a 内会持续增温。

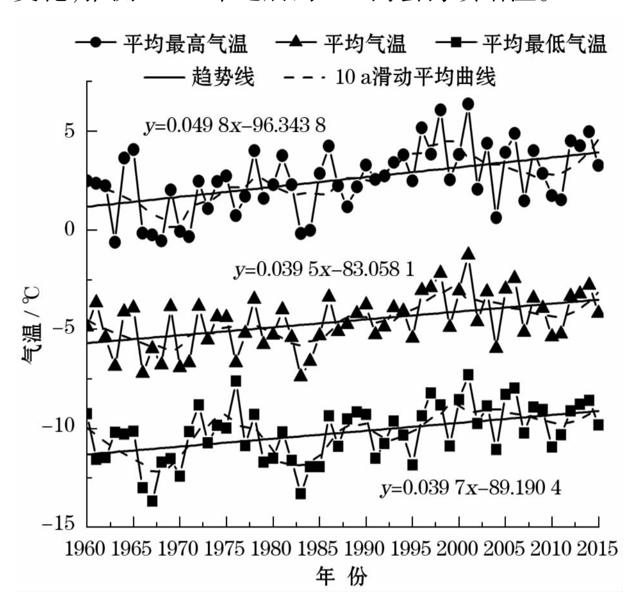


图 2　近 56 a 山西省“数九”各项平均气温年际变化趋势

Fig. 2　Annual changing trends of the average temperature during the period of “Jiu”s in Shanxi Province in the past 56 years

表 1　近 56 a 山西省各“九”各项平均气温的多年变化趋势 / ℃ · (10 a)$^{-1}$

Tab.1　Inter annual trends in the average temperatures of each “Jiu” in Shanxi Province in the past 56 years　/ ℃ · (10 a)$^{-1}$

类别	一九	二九	三九	四九	五九	六九	七九	八九	九九
平均最低气温	0.331	0.092	0.341	0.299	0.488	0.340	0.598 *	0.784 **	0.303
平均最高气温	0.533	0.369	0.337	0.065	0.864 **	0.469	0.636 *	0.623 *	0.581 *
平均气温	0.032	0.379	0.287	0.169	0.703 **	0.309	0.587 *	0.677 **	0.411 *

注: * 表示在 0.05 水平上显著, * * 表示在 0.01 水平上显著

表 1 为近 56 a 山西省各“九”各项平均气温多年变化趋势,从表中可以看出,各“九”各项平均气温均呈增加趋势,且“七九”和“八九”的气温变化趋势均达到显著性水平($P<0.05$)。各“九”中,“一九”的平均气温变化趋势最小,为 0.032 ℃ · (10 a)$^{-1}$,其次为“四九”、“三九”,分别为 0.169 ℃ · (10 a)$^{-1}$和 0.287 ℃ · (10 a)$^{-1}$。“五九”的平均气温变化趋势最大,达 0.703 ℃ · (10 a)$^{-1}$,对“数九”平均气温升高的贡献率最大,其次为“八九”、“七九”,分别为 0.677 ℃ · (10 a)$^{-1}$和 0.587 ℃ · (10 a)$^{-1}$。表 2 为近 56 a 山西省“数九”时节各项平均气温的年代际变化,分析发现,1990s 是气温变暖的转折点,1960s—1970s 是各项平均气温值最低时段,1990s—2000s 为各项平均气温值最高时段。

3.1.2　气温的年内变化　山西省近 56 a 各“九”各项平均气温分布如图 3 所示,“数九”期间,各项平均气温均表现出先降后升的特点。各“九”的平均最低气温均低于 -5 ℃,平均最高气温均高于 0 ℃,平均最高和最低气温的最低值分别出现在“二九”和“四九”。就平均气温而言,“二九”、“三九”、“四九”气温相近,但“四九”气温更低。自“五九”起气温开始回升,“六九”气温回升幅度最大,为 2.51 ℃,“九九”次之,为 1.88 ℃,且“九九”平均气温上升到 0 ℃以上。

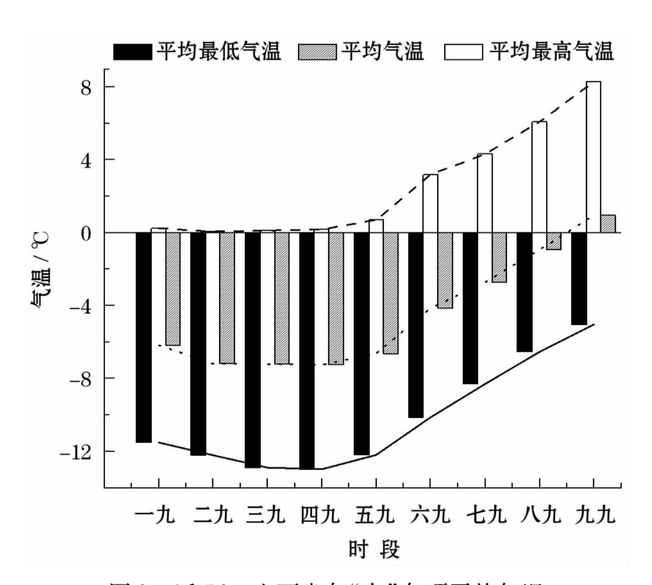


图 3　近 56 a 山西省各“九”各项平均气温

Fig. 3　Average temperature of each “Jiu” in Shanxi Province in the past 56 years

表 2　近 56 a 山西省“数九”各项平均气温年代际变化 / ℃

Tab.2　Inter decadal variation of the average temperature of “Jiu”s in Shanxi in the past 56 years　/ ℃

年代	平均最低气温	平均气温	平均最高气温
1960s	-11.28	-5.26	1.54
1970s	-10.14	-5.28	1.66
1980s	-10.94	-5.15	2.10
1990s	-10.06	-4.03	3.60
2000s	-8.99	-3.59	3.46
2010—2015 年	-9.59	-4.02	3.39
多年平均	-10.20	-4.59	2.57

根据气温年代际变化特点将 1960—2015 年分为 1960—1989 年和 1990—2015 年两个主要时段,对比前后两个时段各“九”各项平均气温可发现(图 4),各项平均气温最冷“九”均出现延后现象,20 世纪 90 年代之前平均最低气温、平均气温和平均最高气温的最低值分别分布在“三九”、“二九”和“一九”,之后均为“四九”。此外,气温回暖时间也有所变化,平均气温回暖时间由“六九”提前到“五九”。从图 4d 还可以看出 1990s 后各“九”各项平均气温均高于之前,其中“五九”、“七九”、“八九”的变化更明显,“八九”的平均最高气温变化最大,为 2.77 ℃,“五九”平均最高气温次之,为 2.62 ℃。“二九”、“三九”、“四九”的气温变化较小,其中“二九”的平均最低气温变化最小,为 0.11 ℃,其次为“四九”的平均最高气温,为 0.18 ℃。

3.2　气温的空间分布特征

3.2.1　平均气温分布特征　图 5 为山西省近 56 a 来“数九”时节平均气温分布,由图5可知山西“数

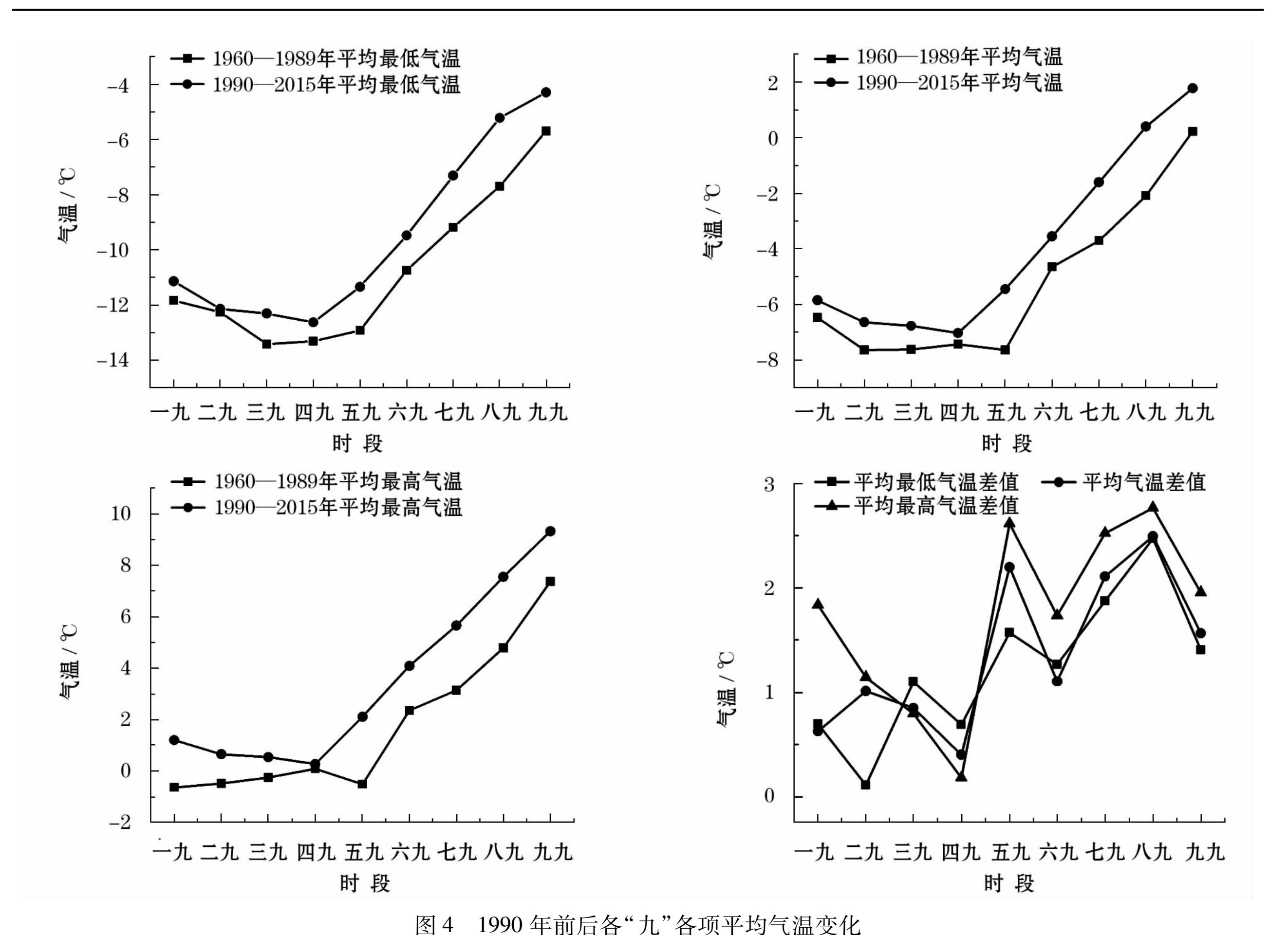


图 4 1990 年前后各“九”各项平均气温变化

Fig. 4 Changing in average temperature of each “Jiu” before and after 1990

九”时节多年平均气温的范围为 -14.3 ~ 1.84 ℃。运城、垣曲、侯马、临汾以及阳城等地位于晋南的山间盆地或河谷区，海拔较同纬度地区低，是气温的高值分布区，平均气温在 -0.63 ~ 1.84 ℃之间，其中侯马、垣曲和运城的多年“数九”平均气温均在 0 ℃以上，分别为 0.03 ℃、1.24 ℃和 1.29 ℃。分别以右玉、五台山为中心的地区包括大同等地是“数九”时节多年平均气温的低值区，气温在 -14.3 ~ -10.6 ℃之间，其中五台山地区是全省“数九”时节多年平均气温最低的地区，平均气温约为 -14.3 ℃，以上低值区的共同特点为纬度较高或海拔较高。太原、太谷、介休等地位于晋中地区的汾河河谷，“数九”多年平均气温在 -4.62 ~ -2.28 ℃之间，属于晋北、晋南的气温过渡区。

综上所述，山西“数九”时节平均气温分布出现中间高两边低，等温线凸向高纬的特点，高值区集中在山间盆地和河谷地带，低值区主要分布于山地丘陵区，气温的分布特点与地形和纬度密切相关。

3.2.2 气温变化趋势分布特征 从山西省近 56 a“数九”各项平均气温倾向率空间分布情况(图 6)来看，总体上平均最高气温倾向率最大，且地区差异表现最明显，平均最低气温与其相反。全省各站点“数九”时节各项平均气温增温趋势显著，且气温倾向率在空间分布上大致呈现由西南向东北递增的特点。从局部来看，气温上升幅度较大的地区主要集中在五台山及其周围地区，升温中心为五台山，平均最低气温、平均气温和平均最高气温的升温幅度分别为 1.62 ℃·$(10\ a)^{-1}$、1.61 ℃·$(10\ a)^{-1}$和1.70 ℃·$(10\ a)^{-1}$，均达到极显著水平($P<0.01$)。在山西省东北地区和西南地区各项平均气温增温幅度均较小。此外，从平均最高气温倾向率分布图中还可以发现分别以隰县、河曲为中心的次升温中心，而以太原、忻州为中心的地区升温幅度较小，对照地形图可得，前者均分布于吕梁山地区，海拔较高，后者分别位于太原盆地和忻州盆地，海拔较低，这是与平均最低气温和平均气温倾向率分布情况的不同之处。

总之，各项平均气温增温速率与海拔密切相关，总体上海拔高的地方增温幅度较大，海拔低的地方增温幅度较小。

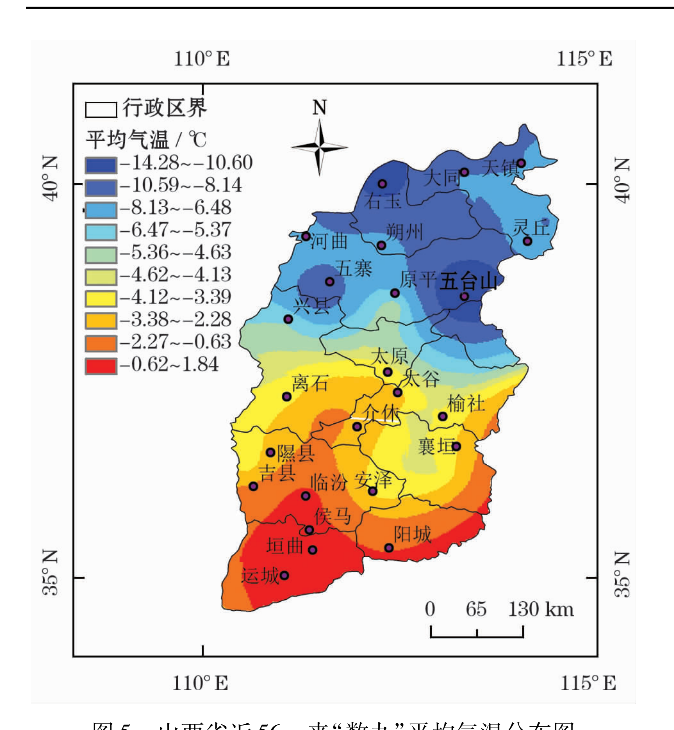


图 5　山西省近 56 a 来“数九”平均气温分布图

Fig. 5　Average temperature distribution of “Jiu”s in the past 56 years in Shanxi Province

3.3　气温的突变检验分析

气候突变是普遍存在于气候系统中的一个重要现象,是气候从一种稳定态(或稳定持续的变化趋势)跳跃式地转变到另一种稳定态(或稳定持续的变化趋势)的现象,表现为气候在时空上从一个统计特性到另一个统计特性的急剧变化[21]。本文采用 Mann-Kendall 非参数检验法对山西省“数九”时节各项平均气温值进行突变检验分析,如图 7 所示。

图 7 中 UF 曲线为时间序列统计曲线,UB 曲线为逆(反)序时间序列统计曲线。对“数九”时节全省各项平均气温进行 M-K 突变检验发现,全省“数九”时节各项平均气温突变前后均存在明显的阶段性。平均最低气温于 1993 年发生增温性突变,突变前后 2 个时段平均气温相差 1.42 ℃,2008 年达到 95% 的置信水平;平均气温于 1989 年发生突变,突变前后 2 个时段平均气温相差 1.31 ℃,突变后增温迅猛,2000 年达到 99% 的置信水平;平均最高气温的正反序列曲线变化与平均气温曲线变化较为相似,于 1990 年出现增温性突变,突变前后 2 个时段平均气温相差 1.73 ℃,变化最明显,突变后增温迅猛,2001 年达到 99% 的置信水平。

综上所述,各项平均气温均在 1990 年左右出现统计意义上的暖突变,进入相对偏暖的状态。蓝柳茹等[22]研究发现华北冬季平均气温在 1985 年发生增温性突变,李慧芳等[23]发现华北冬季气温突变在 1992 年达到显著性水平。可见,山西“数九”时节平均气温突变时间滞后于华北冬季气温突变时间,约为 5 a,达到显著性水平的时间也滞后约 5 a。此外,结合李慧芳等[23]对太阳黑子峰谷值年的研究发现,各项平均气温突变年份以及达到显著性水平的年份均落在太阳黑子峰谷值年附近,其中平均气温的突变时间和达到显著性水平的时间分别为太阳黑子峰值年和谷值年之后 1 a,这与我国不同区域冬季气温突变年份与太阳黑子峰谷值年关系一致[23]。

表 3 为各“九”平均气温可能突变年份。从表中可以看出各“九”突变时间集中于 20 世纪 80 年代和 90 年代,孟万忠等[24]研究发现在 1981—2008 年期间 ENSO 暖事件的频次和强度均高于冷事件,这可能是近56 a各“九”平均气温集中于20世纪

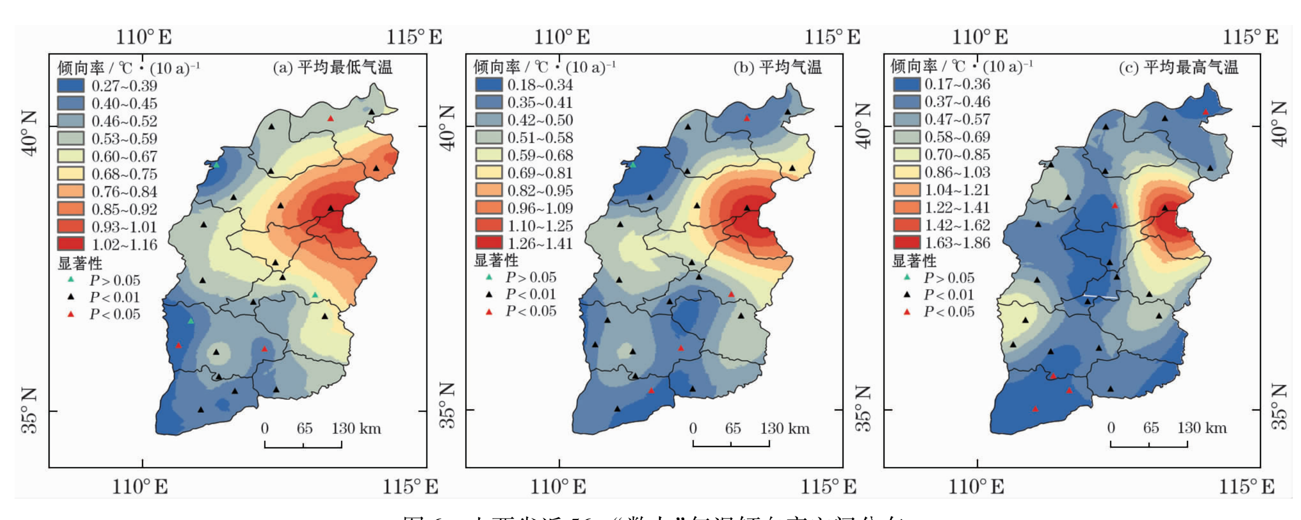


图 6　山西省近 56 a“数九”气温倾向率空间分布

Fig. 6　Spatial distribution of temperature tendency of “Jiu”s in Shanxi Province in the past 56 years

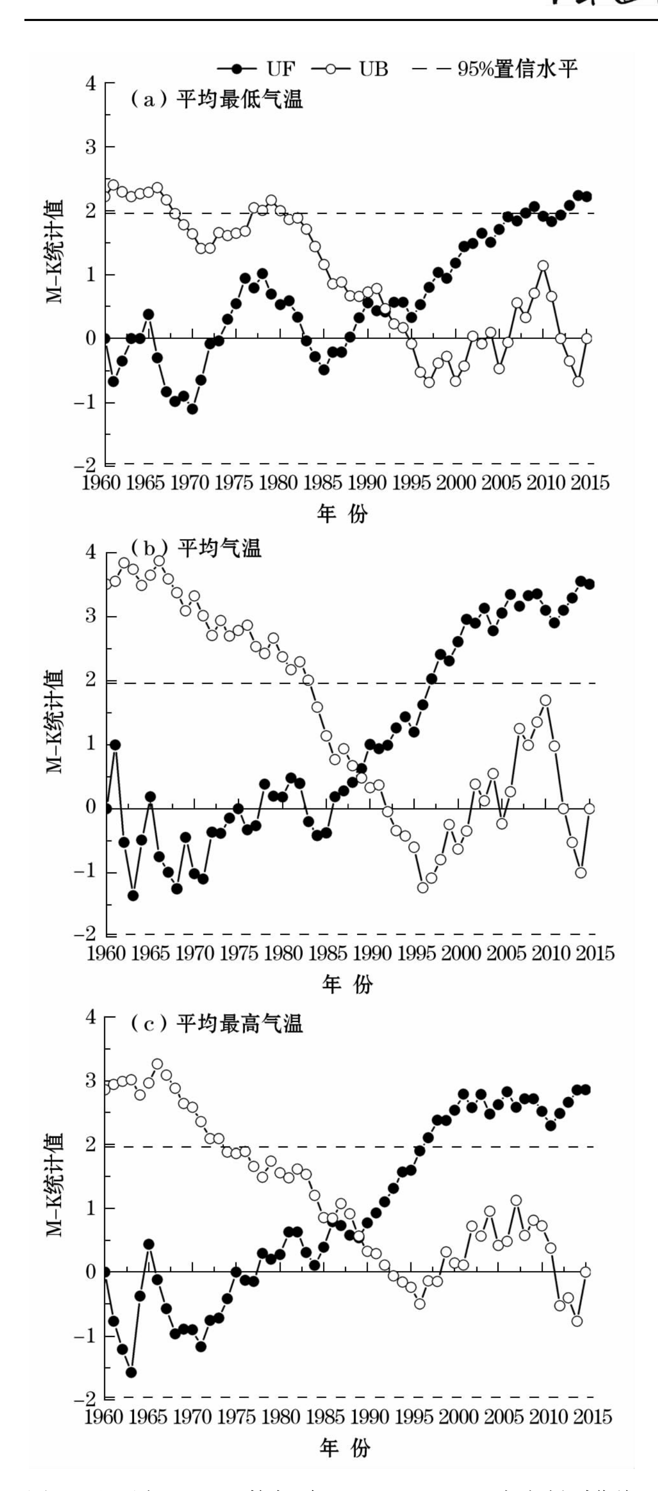


图 7　山西省近 56 a“数九”气温 Mann-Kendall 突变判别曲线

Fig. 7　Mann-Kendall mutation discriminant curve for the temperature of “Jiu”s in Shanxi Province in the past 56 years

80 年代和 90 年代发生增温突变的原因之一。又由于 12 月是 ENSO 事件峰值最集中的月份，且 1982—1983 年是 ENSO 暖事件的一个高峰期[24]，因此可初步推断“一九”平均气温于 1983 年发生增温性突变与 ENSO 暖事件的发生有着密切关系。对山西省 24 个气象站点“数九”平均气温(图8)进行突变检

表 3　山西省近 56 a 各“九”平均气温可能突变年份

Tab. 3　Possible temporary years of each “Jiu” average temperature variations in Shanxi Province in the past 56 years

时段	一九	二九	三九
可能突变年份	1983	1985	1984
时段	四九	五九	六九
可能突变年份	1997	1990	1984
时段	七九	八九	九九
可能突变年份	1988	1993	1988

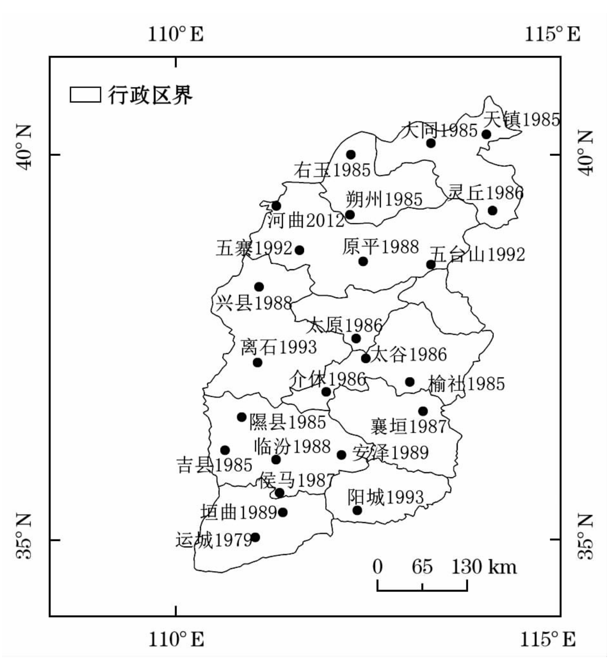


图 8　山西省近 56 a“数九”时节气温可能突变年份分布

Fig. 8　Distribution of temperature may be abruptly changed during the period of “Jiu”s in Shanxi Province in the past 56 years

验发现，山西省各气象站点“数九”气温突变年份主要集中于 20 世纪 80 年代，五台山、五寨、阳城、离石暖突变集中在 20 世纪 90 年代，河曲比较特殊，发生于 2012 年，运城则发生于 1979 年。

3.4　气温的变化周期分析

为了解山西省“数九”时节气温的变化周期，本文利用 Morlet 小波对 1960—2015 年“数九”时节各项平均气温的时间序列进行小波分析，图 9 表明近 56 a“数九”时节各项平均气温的 Morlet 小波系数实部等值线(横坐标为时间参数，纵坐标为频率参数，图中数值为小波系数实部)，正数对应该时间尺度气候变化为暖位相，负数对应冷位相，正、负中心分别对应暖、冷中心。从图9中可以看出，“数九”时

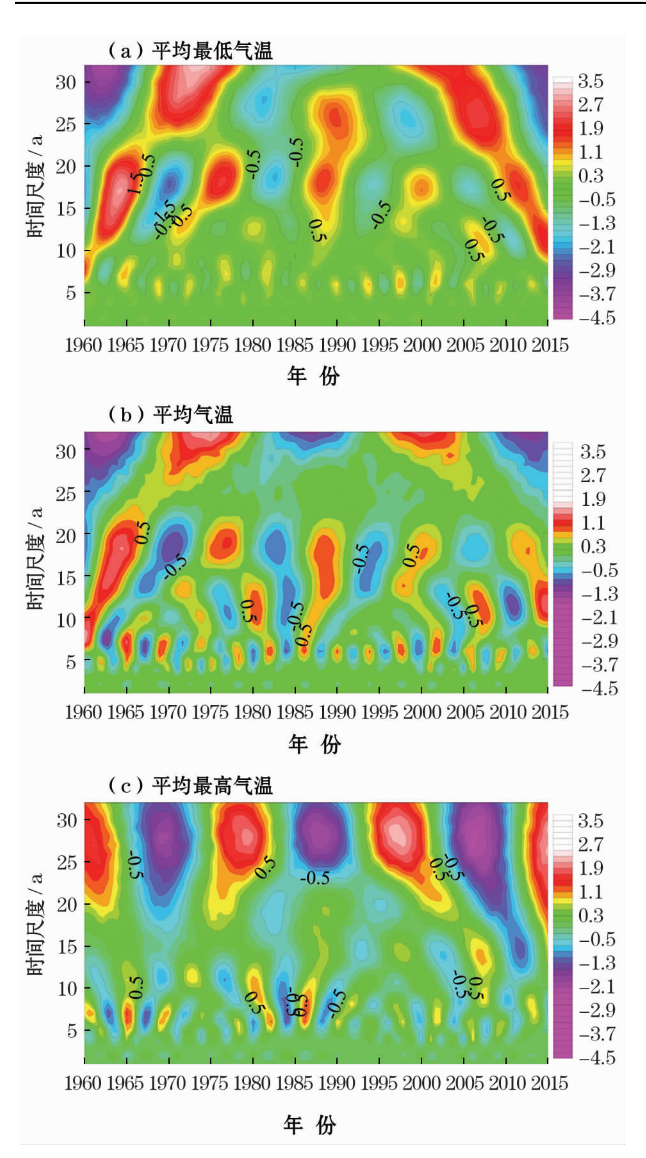


图 9　山西省近 56 a“数九”时节各项平均气温的 Morlet 小波系数实部等值线

Fig. 9　Morlet wavelet coefficient real part contour map of the average temperature during the period of “Jiu”s in Shanxi Province in the past 56 years

节各项平均气温均呈现出明显的振荡周期,冷暖中心交替变化。其中多年平均最低气温存在 4 ~ 8 a, 15 ~ 20 a 和 25 ~ 30 a 的振荡周期;多年平均气温存在 4 ~ 8 a 和 15 ~ 20 a 的振荡周期,在 1973—1985 年和 2003—2015 年期间还存在 10 a 的振荡周期;多年平均最高气温存在 4 ~ 8 a 和 25 ~ 30 a 的振荡周期,在 25 ~ 30 a 的长时间尺度上,平均最高气温振动十分强烈,冷暖交替变化十分明显。通过比较各“九”平均气温主周期可知(表 4),“五九”和“六九”主周期较为一致,约为 6 ~ 7 a,周期最短;“一九”和“二九”主周期相近,集中于 10 ~ 15 a 之间;“四九”、“七九”和“八九”的主周期相近,集中于 15 ~ 20 a 之间;“三九”和“九九”的主周期较长,均在 25 a 以上。

表 4　山西省近 56 a 各“九”平均气温主周期

Tab. 4　Main cycle of “Jiu” average temperature in Shanxi Province in the past 56 years

时段	一九	二九	三九
主周期/a	14	11	27
时段	四九	五九	六九
主周期/a	18	6	7
时段	七九	八九	九九
主周期/a	15	18	29

综上所述,各项平均气温均存在 4 ~ 8 a 短时间尺度振荡周期,各“九”平均气温主周期存在明显差异。

4　结 论

本研究通过分析山西省近 56 a“数九”时节气温的时空变化特征,得到如下结论:

(1) 时间变化特征,山西省近 56 a“数九”时节各项平均气温整体上均呈显著增加趋势,其中平均最高气温增温率最大,约为 0.5 ℃·$(10\ a)^{-1}$。各“九”各项平均气温均呈增加趋势,就平均气温而言,“一九”变化趋势最小,为 0.032 ℃·$(10\ a)^{-1}$,“五九”变化趋势最大,约为 0.703 ℃·$(10\ a)^{-1}$,对“数九”平均气温升高贡献率最大。就平均气温分布而言,“四九”平均气温最低,“五九”开始回暖,“六九”回暖幅度最大。20 世纪 90 年代前后各项平均气温对比发现最低值均出现延后现象,气温回暖时间也不同,平均气温回暖时间由“六九”提前到“五九”。

(2) 空间变化特征,山西“数九”时节平均气温出现中间高两边低,等温线凸向高纬地区的分布特点,高值区集中在山间盆地,以运城盆地最为突出。低值区主要分布于山地丘陵,以五台山地区表现最明显。但从气温倾向率分布来看,海拔高的地方增温幅度较大,海拔低的地方增温幅度较小,与平均气温分布特点相反。

(3) 各项平均气温突变前后存在明显的阶段性,平均气温、平均最低气温和平均最高气温突变后较突变前分别升温 1.31 ℃、1.42 ℃和 1.73 ℃,平均最高气温变化最明显。各项平均气温均在 1990 年左右出现统计意义上的暖突变,进入相对偏暖的

状态。

(4)"数九"时节各项平均气温均呈现出明显的周期变化,冷暖中心有规律地进行交替。平均最低气温、平均气温和平均最高气温均存在4~8 a短时间尺度变化周期。各"九"平均气温周期变化差异明显。

参考文献(References)

[1] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation:Special report of intergovernmental panel on climate change[C]// FIELD C B, BARROS V, STOCKER T F, et al. A special report of working groups Ⅰ and Ⅱ of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press,2012.

[2] FOLLAND C K, KARL T R, CHRISTY J R, et al. Observed climate variability and change[C]// HOUGHTON J T, DING Y, GRIGGS D J, et al. Climate change 2001:The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change(IPCC). Cambridge: Cambridge University Press,2001:99-181.

[3] RICHARD A K. Yes, it's been getting warmer in here since the CO_2 began to rise[J]. Science,2006,312(5782):1854.

[4] KARL T R, KUKLA G, RAZUVAYEV V N, et al. Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. Geophysical Research Letters,1991,18(12):2253-2256.

[5] KARL T R, JONES P D, KNIGHT R W, et al. A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,1993,74(6):1007-1023.

[6] JONES P D, BRIFFA K R. Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 1, spatial, temporal and seasonal details[J]. Holocene,1992,2(2):165-179.

[7] 周鑫. 中国气温的年际-年代际变化特征及其模拟检验研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2013. [ZHOU Xin. Analysis on interannual and interdecadal variability of temperature over China and its simulation[D]. Nanjing:Nanjing University of Information Science & Technology,2013.]

[8] 韩翠华,郝志新,郑景云. 1951—2010年中国气温变化分区及其区域特征[J]. 地理科学进展,2013,32(6):887-896. [HAN Cuihua, HAO Zhixin, ZHENG Jingyun. Regionalization of temperature changes in China and characteristics of temperature in different regions during 1951—2010[J]. Progress in Geography, 2013,32(6):887-896.]

[9] 梁苏洁. 近50年中国冬季气温和冬季风以及区域环流的年代际变化研究[D]. 北京:中国气象科学研究院,2014. [LIANG Sujie. Analysis of the interdecadal changes of the wintertime surface air temperature and winter monsoon over China mainland and regional atmospheric circulation characteristics during 1960—2013[D]. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2014.]

[10] 赵健,任周鹏,王劲峰,等. 1961—2013年东北与华北气温变化速度空差异[J]. 地球信息科学学报,2017,19(7):909-914. [ZHAO Jian, REN Zhoupeng, WANG Jinfeng, et al. Spatial difference in the velocity of temperature change in Northeast China and North China from 1961 to 2013[J]. Journal of Geo-information Science,2017,19(7):909-914.]

[11] 王澄海,李健,许晓光. 中国近50年气温变化准3年周期的普遍性及未来的可能变化趋势[J]. 高原气象,2012,31(1):126-136. [WANG Chenghai, LI Jian, XU Xiaoguang. Universality of quasi-3-year period of temperature in last 50 year and change in next 20 years in China[J]. Plateau Meteorology,2012,31(1):126-136.]

[12] 刘飞. 基于GIS和多元统计方法的中国大陆气温时空变化研究[D]. 兰州:兰州大学,2015. [LIU Fei. Temporal-spatial variations of temperature in Chinese inland based on GIS and multivariate statistical method[D]. Lanzhou: Lanzhou University,2015.]

[13] 张一驰,吴凯,于静洁,等. 华北地区1951—2009年气温、降水变化特征[J]. 自然资源学报,2011,26(11):1930-1941. [ZHANG Yichi, WU Kai, YU Jingjie, et al. Characteristics of precipitation and air temperature variation during 1951—2009 in North China[J]. Journal of Natural Resources,2011,26(11):1930-1941.]

[14] 张丽花,延军平,陈利民. 近52 a山西气温变化特征[J]. 干旱区研究,2014,31(6):1068-1072. [ZHANG Lihua, YAN Junping, CHEN Limin. Temperature variation characteristics in Shanxi in recent 52 years[J]. Arid Zone Research,2014,31(6):1068-1072.]

[15] 苗爱梅,武捷,贾利冬. 1958—2008年山西气温变化的特征及趋势研究[J]. 地球科学进展,2010,25(3):264-272. [MIAO Aimei, WU Jie, JIA Lidong. The research of air temperature variation characteristics and trend during 1958—2008[J]. Advances in Earth Science,2010,25(3):264-272.]

[16] 张莉秋,张红,李皎,等. 晋北沙漠化地区1980—2014年的气候变化[J]. 中国沙漠,2016,36(4):1116-1125. [ZHANG Liqiu, ZHANG Hong, LI Jiao, et al. Climate change in sandy desertification area of the Northern Shanxi from 1980 to 2014[J]. Journal of Desert Research,2016,36(4):1116-1125.]

[17] 瞿中友,梁丽君. 晋中地区近40年气象要素变化特征分析[J]. 现代农业科技,2015,(22):215-255. [ZHAI Zhongyou, LIANG Lijun. Analysis on the change characteristics of meteorological elements in the Jinzhong region in recent 40 years[J]. Modern Agricultural Science and Technology,2015,(22):215-255.]

[18] 高文华,李忠勤,张明军,等. 山西晋南地区近56 a的气候变化特征、突变与周期分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(7):124-127. [GAO Wenhua, LI Zhongqin, ZHANG Mingjun, et al. Characteristics and analysis of abrupt and cyclic climate changes in the southern Shanxi Province in recent 56 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(7): 124-127.]

[19] 《中国自然地理》编写组. 中国自然地理[M]. 北京:高等教育出版社,1984:237-251. [The compiling group of Chinese physical geography. Chinese physical geography[M]. Beijing: Higher Education Press,1984:237-251.]

[20] 编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京:科技

出版社,2015. [Preparing Committee. Third national assessment report on climate change[M]. Beijing: Science and Technology Press,2015.]

[21] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482－493. [FU Congbin, WANG Qiang. The definition and detection of abrupt climatic change[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,1992,16(4):482－493.]

[22] 蓝柳茹,李栋梁. 西伯利亚高压的年际和年代际异常特征及其对中国冬季气温的影响[J]. 高原气象,2016,35(3):662－674. [LAN Liuru, LI Dongliang. Interannual and interdecadal anomaly features of Siberian high and their impact on winter temperature of China[J]. Plateau Meteorology,2016,35(3):662－674.]

[23] 李慧芳,殷淑燕. 不同区域冬季气温与太阳黑子活动的关系[J]. 干旱区研究,2016,33(2):345－352. [LI Huifang, YIN Shuyan. Relationship between solar sunspots and winter air temperature in different regions of China[J]. Arid Zone Research,2016,33(2):345－352.]

[24] 孟万忠,王尚义,赵景波. ENSO 事件与山西气候的关系[J]. 中国沙漠,2013,33(1):258－264. [MENG Wanzhong, WANG Shangyi, ZHAO Jingbo. Relationship between ENSO events and the climate during 1955—2008 in Shanxi, China[J]. Journal of Desert Research,2013,33(1):258－264.]

Temporal and spatial variations of the temperature during the period of “Jiu” in Shanxi Province from 1960 to 2015

YAO Yu, ZHENG Wei, LI Min-rui, GAO Wen-lan, SHI Pei-hong

(*School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an* 710119, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: In recent years, global climate change as a hot topic is being widely concerned. Air temperature, one of the important climate factors, has a strong influence on production and living in the world. The past studying on climate change indicated that air temperature variation in China had remarkable periodicity, spatial differentiation and abrupt change from time perspective. There are some researches on temporal and spatial variations of air temperature in Shanxi Province, which is a typical inland province of China. But those works normally focus on analyzing the air temperature data in a fixed time scale such as year, season, month etc. Maybe it is useful in understanding the characteristic of air temperature variation from a rather macroscopic perspective. However, few studies on climate in Shanxi province concern the temporal and spatial variations of air temperature in a distinct time or a special season. “Jiu” means nine days in the traditional Chinese calendar and has a long history for traditional agricultural production and daily life in China. It begins from the winter solstice and ends after eighty one days and then is divided as nine “Jiu” periods. In China, the “Jiu” periods are the coldest days of the whole year. Based on daily air temperature data from 24 meteorological stations in Shanxi province from 1960 to 2016, this study used the methods of the linear tendency estimation, Mann-Kendall nonparametric test, and Morlet wavelet analysis to analyze the temporal and spatial variations of air temperature during the “Jiu” periods for the past 56 years. The results indicate the following conclusions: (1) The air temperature in the “Jiu” periods shows an increasing variation in the past 56 years, especially the mean maximum temperature was increased by 0.5 ℃ · $(10\ a)^{-1}$. From time perspective, the fourth “Jiu” period had the lowest temperature, the temperature started to increase from the fifth “Jiu” period with a sharp warming in the sixth period. After 1990, the number of cold days during the “Jiu” periods became smaller. (2) The higher temperature usually appeared at the basin and river valley of South Shanxi like Yuncheng Basin, and the lower temperature normally happened in the mountain and hill regions of Northeast Shanxi like Wutai Mountain. But the distribution of the regions about the temperature increase range at the same time displayed a reverse variation. (3) After 1990, the air temperature during the “Jiu” periods presented a warm abrupt change, particularly the mean maximum temperature being increased by 1.73 ℃. (4) There is a distinct air temperature cycle in this area with a 4～8 years cycling period. This study provided additional information for the evaluation of climate resource and distribution of agricultural production in this area by covering the special “Jiu” periods.

Key words: “Jiu” period; air temperature; Shanxi Province; temporal and spatial changes; numerical analysis